



TUGAS AKHIR - TE 141599

**MULTIOBJECTIVE OPTIMAL POWER FLOW UNTUK
OPTIMASI BIAYA PEMBANGKITAN DAN BIAYA TRANSMISI**

Rurizwan Syahru Wibisana
NRP 2213105006

Dosen Pembimbing
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Dr. Ir. Soedibyo, M. MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE 141599

***MULTIOBJECTIVE OPTIMAL POWER FLOW FOR
OPTIMIZING GENERATION COST AND TRANSMISSION
COST***

Rurizwan Syahru Wibisana
NRP 2213105006

Supervisor
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Dr. Ir. Soedibyo, M. MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2015

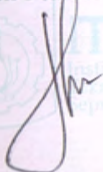
**MULTIOBJECTIVE OPTIMAL POWER FLOW UNTUK OPTIMASI
BIAYA PEMBANGKITAN DAN BIAYA TRANSMISI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

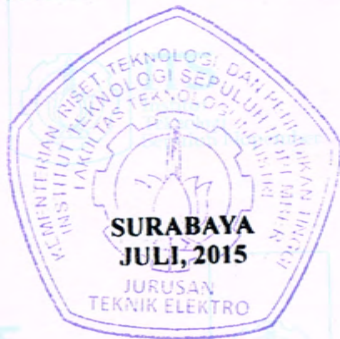


Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
NIP. 1974112920000121001

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Soedibyo, M. MT.
NIP. 195512071980031004



Multiobjective Optimal Power Flow Untuk Optimasi Biaya Pembangkitan Dan Biaya Transmisi

Nama Mahasiswa : Rurizwan Syahru Wibisana
NRP : 2213105006
Dosen Pembimbing I : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
NIP : 197411292000121001
Dosen Pembimbing II : Dr.Ir.Soedibyo,M.MT.
NIP : 195512071980031004

ABSTRAK

Dalam optimasi sistem tenaga listrik, telah banyak metode digunakan dalam mencari tidak hanya nilai biaya optimal dari biaya pembangkitan tetapi juga mencari biaya transmisi optimal misalnya metode *interior point* yang digabung dengan *goal programming*. *Optimal Power Flow* dengan lebih dari satu fungsi objektif (*multiobjective optimal power flow*) pada biaya pembangkitan dan biaya transmisi sangat perlu dilakukan studi karena untuk mengirim energi listrik dari pembangkit ke beban memerlukan pengaturan pembagian beban. Pembagian beban dilakukan untuk mendapatkan biaya pembangkitan yang optimum. Ketidakefisiensian apabila semua unit pembangkit bekerja pada rating maksimum yang menyebabkan perlunya dilakukan pengaturan pembagian beban. Optimasi biaya transmisi juga sangat perlu dilakukan, karena tanpa adanya transmisi daya hasil pembangkitan tidak mungkin sampai ke pelanggan. Untuk mendapatkan nilai optimal dari satu fungsi objektif harus juga memperhatikan nilai optimal fungsi objektif lain yang saling mempengaruhi. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah Optimal Power Flow optimasi biaya pembangkitan dan biaya transmisi di Tugas Akhir ini menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah biaya transmisi adalah *Locational Marginal Pricing* (LMP). Sistem kelistrikan yang digunakan adalah Jawa Bali 500 kV. Dari hasil analisa didapatkan bahwa nilai biaya transmisi dan nilai biaya pembangkitan ada pada kondisi optimal.

Kata Kunci : *Multiobjective Optimal Power Flow, Particle Swarm Optimization, Locational Marginal Price, Sistem Jawa Bali 500 kV*

Halaman ini sengaja dikosongkan

Multiobjective Optimal Power Flow For Optimizing Generation Cost And Transmission Cost

Name : Rurizwan Syahru Wibisana
NRP : 2213105006
Supervisor I : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
NIP : 197411292000121001
Supervisor II : Dr.Ir.Soedibyo,M.MT.
NIP : 195512071980031004

ABSTRACT

In the electric power system optimization, has been widely used method in finding not only the optimal cost value of generation costs but also seek optimal transmission costs eg interior point method combined with goal programming. Optimal Power Flow with more than one objective function (multiobjective optimal power flow) to the cost of generation and transmission costs are very necessary to study due to supply electrical energy from the generator to the load require burden sharing arrangements. Burden sharing is done to get the optimum generation cost. Inefficiencies when all generating units working at the maximum rating that led to the need for burden sharing arrangements. Optimization of transmission costs is also very necessary, because of the absence of the generation of power transmission may not be up to the customer. To obtain the optimum value of the objective function must also pay attention to the optimal value of the objective function influence each other. The method used to solve optimization problems Optimal Power Flow generation costs and transmission costs in this final project using the Particle Swarm Optimization (PSO). The method used to solve the problem of transmission costs is Locational Marginal Pricing (LMP). Electrical systems used is Java Bali 500 kV. From the analysis it was found that the value of the cost of transmission and generation cost values exist in optimal conditions.

**Keywords : Multiobjective Optimal Power Flow,
Particle Swarm Optimization, Locational Marginal Price, Java Bali
500 kV System**

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Dengan segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul: **"Multiobjective Optimal Power Flow Untuk Optimasi Biaya Pembangunan dan Biaya Transmisi"**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan dan doa.
3. Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT. Dan Dr. Ir. Soedibyo, M. MT. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan perhatiannya selama tugas akhir.
4. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
5. Keluarga Lab. B103, Suyanto, ST., MT. dan Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT., Ayla, Nanik, Citra, Albert, Reyhan, Kharis, Fadli, Mas Yuli, Mas Aji, Ainul Khakim, Ainul Yaqin, dan Surya Mahendra.
6. Seluruh Dosen dan Karyawan di jurusan Teknik Elektro ITS atas fasilitas dan waktu yang diberikan.
7. Semua teman-teman mahasiswa Lintas Jalur Teknik Elektro ITS angkatan 2013 semester ganjil bidang studi Teknik Sistem Tenaga.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi	4
BAB II MULTIOBJECTIVE OPTIMAL POWER FLOW	
2.1 Optimasi Multiobjective	5
2.2 Studi Aliran Daya	6
2.2.1 Persamaan Aliran Daya	6
2.3 Metode Newton Raphson	8
2.4 Optimal Power Flow	12
2.5 Biaya Transmisi dengan Locational Marginal Price (LMP)	13
2.6 Solusi Multiobjective Optimal Power Flow untuk Biaya Pembangkitan dan Biaya Transmisi	14
2.6.1 Multiobjective Particle Swarm Optimization	14
BAB III PENERAPAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION PADA MULTIOBJECTIVE OPTIMAL POWER FLOW	
3.1 Optimal Power Flow Dengan Fungsi Biaya Kuadratik	17
3.2 Fungsi Objektif Biaya Transmisi	18

3.3	<i>Multiobjective Function</i> Biaya Pembangkitan Dan Biaya Transmisi.....	18
3.4	<i>Particle Swarm Optimization</i>	19
3.4.1	Pengaplikasian Terhadap Multiobjective Optimal Power Flow	23
3.4.2	Parameter – parameter	24
3.4.3	Inisialisasi Kecepatan	25
3.4.4	Evaluasi Fitness Populasi.....	25
3.4.5	Penentuan Posisi Terbaik Lokal dan Global	26
3.4.6	Pembaruan Kecepatan Partikel	26
3.4.7	Pembatasan Pergerakan Partikel	27
BAB IV	ANALISA HASIL DAN SIMULASI	
4.1	Sistem Interkoneksi Jawa Bali 500 kV	29
4.2	Hasil Simulasi Optimasi Individu	35
4.2.1	Optimasi Biaya Pembangkitan.....	35
4.2.2	Optimasi Biaya Transmisi	37
4.3	Hasil Simulasi Multiobjective Optimal Power Flow	40
4.3.1	Optimasi Biaya Pembangkitan.....	40
4.3.2	Optimasi Biaya Transmisi	42
4.4	Analisa Hasil Simulasi	48
BAB V	PENUTUP	
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
RIWAYAT HIDUP	54

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data Pembangkitan sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV 25bus	31
Tabel 4.2	Data saluran sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV 25 bus	32
Tabel 4.3	Batasan daya Pembangkit sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali 25 bus	34
Tabel 4.4	Tabel pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali	34
Tabel 4.5	Hasil sepuluh kali percobaan optimasi individu biaya pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (20 swarm)	35
Tabel 4.6	Hasil sepuluh kali percobaan optimasi individu biaya pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (30 swarm)	35
Tabel 4.7	Hasil sepuluh kali percobaan optimasi individu biaya pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (40 swarm)	36
Tabel 4.8	Hasil sepuluh kali percobaan optimasi individu biaya pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (50 swarm)	36
Tabel 4.9	Hasil sepuluh kali percobaan optimasi individu biaya transmisi sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (20 swarm)	37
Tabel 4.10	Hasil sepuluh kali percobaan optimasi individu biaya transmisi sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (30 swarm)	38
Tabel 4.11	Hasil sepuluh kali percobaan optimasi individu biaya transmisi sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (40 swarm)	38
Tabel 4.12	Hasil sepuluh kali percobaan optimasi individu biaya transmisi sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (50 swarm)	39
Tabel 4.13	Hasil sepuluh kali percobaan optimasi mopf biaya pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (20 swarm)	40

Tabel 4.14	Hasil sepuluh kali percobaan optimasi mopf biaya pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (30 swarm)	41
Tabel 4.15	Hasil sepuluh kali percobaan optimasi mopf biaya pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (40 swarm)	41
Tabel 4.16	Hasil sepuluh kali percobaan optimasi mopf biaya pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (50 swarm)	42
Tabel 4.17	Hasil sepuluh kali percobaan optimasi mopf biaya transmisi sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (20 swarm)	42
Tabel 4.18	Hasil sepuluh kali percobaan optimasi mopf biaya transmisi sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (30 swarm)	43
Tabel 4.19	Hasil sepuluh kali percobaan optimasi mopf biaya transmisi sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (40 swarm)	44
Tabel 4.20	Hasil sepuluh kali percobaan optimasi mopf biaya transmisi sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (50 swarm)	45
Tabel 4.21	Batas kapasitas saluran dari bus ke bus	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem Tenaga Listrik	6
Gambar 2.2	Penggambaran Bus secara umum.....	7
Gambar 3.1	Konsep pencarian Pbest dan Gbest dari PSO	22
Gambar 3.2	Diagram alir MOPF-PSO.....	24
Gambar 4.1	Sistem Interkoneksi Jawa Bali 500 kV	30
Gambar 4.2	Grafik konvergensi sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV 25 bus	47
Gambar 4.3	Plot tegangan bus sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV 25 bus(optimasi individu dan optimasi mopf)	47

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penggunaan energi listrik di Indonesia semakin bertambah. Berkembangnya sektor ekonomi menyebabkan pertumbuhan beban listrik yang semakin tinggi. Hal ini harus didukung dengan tersedianya *supply* energi listrik dari perusahaan penyedia energi listrik. Perusahaan listrik Negara (PLN) sebagai pihak yang bertanggung jawab dalam menyediakan *supply* energi listrik, memiliki sejumlah pembangkit yang menghasilkan energi listrik. Pengoperasian unit pembangkit untuk mensupply beban perlu diatur agar daya yang dibangkitkan mampu melayani permintaan beban namun dengan tetap menjaga biaya pembangkitan dalam kondisi yang optimum. Sejumlah pembangkit di Indonesia merupakan pembangkit thermal dan hydro, masing masing tipe pembangkit memiliki karakteristik sendiri apabila melayani beban.

Dalam Tugas Akhir ini akan disimulasikan untuk mencari nilai biaya optimum dari biaya pembangkitan dan biaya transmisi. *Optimal power flow* dengan *multi objective function* pada biaya pembangkitan dan biaya transmisi sangat perlu dilakukan studi, karena untuk mengirim energi listrik dari pembangkit ke beban memerlukan pengaturan pembagian beban. Pembagian beban dilakukan untuk mendapatkan biaya pembangkitan yang optimum, ketidakefisiensian apabila semua unit pembangkit bekerja pada rating maksimum yang menyebabkan perlunya dilakukan pengaturan pembagian beban. Optimasi biaya transmisi juga sangat perlu dilakukan, karena tanpa adanya transmisi daya hasil pembangkitan tidak mungkin sampai ke pelanggan. Dengan adanya perhitungan biaya transmisi juga memudahkan PLN untuk menentukan pembangunan saluran transmisi.

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimal power flow optimasi biaya pembangkitan dan biaya transmisi di Tugas Akhir ini menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah biaya transmisi adalah *Locational Marginal Pricing* (LMP). Model sistem yang digunakan

adalah sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV dengan sifat aliran daya AC Optimal Power Flow sehingga permasalahan yang ada adalah non linier. *Particle Swarm Optimization* dapat menyelesaikan masalah non linier pada sistem tenaga listrik. Program Menggunakan software MATLAB 8.1.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana membuat program untuk menyelesaikan masalah *multiobjective optimal power flow* pada optimasi biaya pembangkitan dan biaya transmisi menggunakan *software* MATLAB 8.1.
2. Bagaimana cara mendapatkan nilai biaya pembangkitan yang paling optimal.
3. Bagaimana cara mendapatkan nilai biaya transmisi yang paling optimal.
4. Bagaimana cara mendapatkan jumlah *swarm* dan iterasi yang efisien dalam memperoleh biaya pembangkitan dan biaya transmisi yang optimal.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai melalui Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui program *Particle Swarm Optimization* agar bisa digunakan untuk menyelesaikan masalah *multiobjective optimal power flow* pada optimasi biaya pembangkitan dan biaya transmisi dengan menggunakan software MATLAB 8.1.
2. Mengetahui nilai biaya pembangkitan yang paling optimal.
3. Mengetahui nilai biaya transmisi yang paling optimal.
4. Mengetahui jumlah *swarm* dan iterasi yang efisien dalam memperoleh biaya pembangkitan dan biaya transmisi yang optimal.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan *multiobjective optimal power flow* adalah *particle swarm optimization*.
2. Metode yang digunakan untuk menghitung biaya transmisi adalah *Locational Marginal Price*.
3. Data sistem kelistrikan yang digunakan adalah sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV

1.5 Metodologi

Langkah – langkah yang dilakukan agar tujuan Tugas Akhir tercapai adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur
Mempelajari berbagai referensi mengenai *multiobjective optimal power flow*, *particle swarm optimization*, *locational marginal price*, dan cara penggunaan *software* MATLAB 8.1. Studi literature mengambil sumber dari berbagai jurnal *IEEE* dan *Science Direct* serta berbagai buku yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini.
2. Pengumpulan data
Untuk Tugas Akhir ini diperlukan data sistem kelistrikan Jawa Bali 500 kV. Data fungsi objektif diolah dari data sistem Jawa Bali.
3. Program dan Simulasi
Membuat program *particle swarm optimization* pada MATLAB 8.1 untuk digunakan menyelesaikan masalah optimasi *multiobjective optimal power flow*. Simulasi program menggunakan data pembangkitan dan transmisi Jawa Bali 500 kV
4. Analisa Hasil dan Simulasi
Menganalisa hasil dari simulasi. Analisis yang dilakukan adalah pada hasil optimal dari biaya pembangkitan dan biaya transmisi.
5. Kesimpulan
Dari hasil analisa dan simulasi *program PSO MOPF* didapat kesimpulan. Selain jawaban yang berupa kesimpulan terdapat saran atas hasil Tugas Akhir untuk penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan buku Tugas Akhir ini menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Bab ini membahas mengenai latar belakang, permasalahan tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi dari Tugas Akhir.

BAB II *Multiobjective Optimal Power Flow*

Bab ini berisi tentang dasar teori dari *multiobjective optimal power flow*, penjelasan *particle swarm optimization*, dan *locational marginal price*.

BAB III Penerapan Particle Swarm Optimization pada Multiobjective Optimal Power Flow

Bab ini menjelaskan mengenai cara penggunaan *particle swarm optimization* untuk menyelesaikan masalah *Multiobjective Optimal Power Flow*

BAB IV Analisis Hasil dan Simulasi

Bab ini berisi hasil simulasi *Multiobjective Optimal Power Flow* dengan *particle swarm optimization* serta analisis hasil simulasi.

BAB V Penutup

Bab ini berisi mengenai kesimpulan yang menjadi jawaban dari permasalahan yang dianalisis dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

1.7 Relevansi

Hasil Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui cara menyelesaikan masalah *multiobjective optimal power flow* menggunakan *particle swarm optimization*.
2. Dapat menjadi referensi bagi peneliti lain yang akan menyelesaikan masalah *multiobjective optimal power flow* menggunakan *particle swarm optimization*.

BAB II

MULTIOBJECTIVE OPTIMAL POWER FLOW

2.1 Optimasi Multiobjective

Permasalahan optimal power flow yang melibatkan lebih dari satu fungsi objektif untuk mencari nilai solusi optimal disebut dengan Optimasi *Multiobjective*. Optimasi Multiobjective dapat ditulis dalam formula sebagai berikut :

$$\underset{x \in \mathbb{R}^d}{\text{Minimize}} f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_M(x)], \quad (2.1)$$

Keterangan :

$f_1(x)$ = Fungsi Objektif ke 1

$f_2(x)$ = Fungsi Objektif ke 2

$f_M(x)$ = Fungsi Objektif ke M

Dengan,

$$g_{j(x)} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, j, \quad (2.2)$$

$$h_k(x) = 0, \quad k = 1, 2, \dots, k$$

Dimana $x = (x_1, x_2, \dots, x_d)^T$ merupakan vektor dari variabel keputusan [1]. $g_{j(x)}$ merupakan batasan pertidaksamaan (*inequality constraint*) dan $h_k(x)$ adalah batasan persamaan (*equality constraint*). Fungsi objektif dapat mencari nilai minimal atau nilai maksimal. Penelitian – penelitian yang telah dilakukan mengenai penyelesaian masalah optimasi multiobjective seperti pada [2] yang menggunakan metode *Non Dominated Sorting Genetic Algorithm* (NSGA II). Studi kasus yang dilakukan pada penelitian [2] ini diantaranya antara meminimalkan *Fuel Cost* dengan meminimalkan rugi transmisi, emisi NOx, emisi COx, emisi SOx. Pada penelitian [3] penyelesaian permasalahan optimasi multiobjective menggunakan metode *interior point methods* dengan kombinasi *goal programming*, penelitian ini mengoptimalkan pembagian daya aktif dan reaktif dengan memaksimalkan *voltage security* dalam sistem tenaga listrik. Optimasi multiobjective untuk pembagian daya aktif dan voltage deviation, serta kompensasi biaya alat terdapat pada [4] yang diselesaikan menggunakan metode *Evolutionary Algorithms* (AE) dengan SPEA2 method (*Improving Strength Pareto Evolutionary Algorithms*).

2.2 Studi Aliran Daya[6]

Secara umum sistem tenaga listrik dibagi menjadi beberapa bagian antara lain : pembangkit, transmisi listrik, distribusi, dan beban.

Pembangkit adalah komponen penting dalam sistem tenaga listrik. Pembangkit merupakan bagian sistem tenaga listrik yang menghasilkan daya listrik dan kemudian daya disalurkan ke beban dalam sistem tenaga listrik melalui sebuah sistem transmisi. Sistem transmisi bertujuan untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit menuju sistem untuk menyuplai beban. Saluran transmisi juga menghubungkan peralatan selama sistem bekerja normal maupun ketika terjadi gangguan. Sistem distribusi adalah bagian yang menghubungkan gardu induk distribusi ke konsumen. Sistem distribusi membagi-bagikan energi listrik ke beban listrik sesuai permintaan konsumen. Beban adalah komponen daya listrik yang mengkonsumsi daya listrik.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik bisa terdiri dari ratusan titik dan cabang dengan harga impedansi tertentu yang dinyatakan dalam satuan per unit dari MVA *base*. Persamaan sistem dapat dirumuskan secara sistematis dalam bentuk yang bermacam-macam. Umumnya, metode titik tegangan yang paling cocok dan sering digunakan dalam berbagai analisis aliran daya. Saat arus titik tersebut ditentukan, maka persamaan tersebut dapat diselesaikan menggunakan nilai tegangan titiknya.

2.2.1 Persamaan Aliran Daya[6]

Berdasar hukum Kirchoff Arus, hubungan antara besar tegangan bus dan arus dinyatakan dalam persamaan titik tegangan.

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus} \quad (2.3)$$

Persamaan di atas jika dinyatakan ke dalam bentuk matriks admitansi dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Dimana

n = jumlah total titik

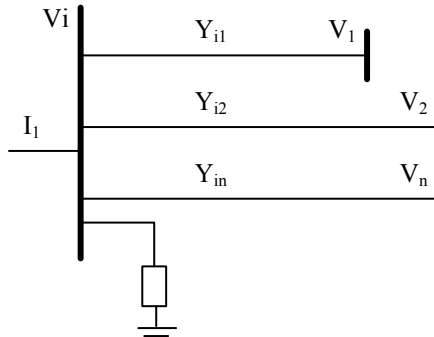
Y_{11} = admitansi sendiri dari titik i

Y_{21} = mutual admitansi dari titik i dan j

V_1 = tegangan fasor pada titik i

I_1 = arus fasor yang mengalir ke titik i

Penggambaran bus secara umum pada suatu jaringan sistem tenaga listrik diberikan pada gambar berikut ini.



Gambar 2.2 Penggambaran Bus secara Umum

Penerapan hukum Kirchoff arus pada sistem tersebut menghasilkan

$$\begin{aligned} I_i &= y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \\ &= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \end{aligned} \quad (2.5)$$

Atau

$$I_i = Vi \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq 1 \quad (2.6)$$

Daya aktif dan daya reaktif pada bus i adalah

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.7)$$

atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.8)$$

Substitusi nilai I_i pada 2.6 menghasilkan

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = Vi \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq 1 \quad (2.9)$$

Persamaan aliran daya tersebut diselesaikan dengan menggunakan suatu proses pengulangan (iterasi) dengan menetapkan nilai-nilai perkiraan untuk tegangan pada bus yang tidak diketahui nilainya dan kemudian menghitung suatu nilai baru untuk setiap tegangan bus dari nilai perkiraan pada bus yang lain. Setiap perhitungan suatu himpunan nilai tegangan yang baru disebut sebagai satu iterasi. Proses iterasi ini diulang terus-menerus hingga perubahan yang terjadi pada setiap bus kurang dari nilai minimum atau tidak melebihi nilai maksimum yang telah ditentukan.

2.3 Metode Newton-Rhapson[7]

Metode Newton-Rhapson adalah suatu metode yang menggunakan uraian deret Taylor untuk menyelesaikan persamaan dengan dua variabel atau lebih. Misal terdapat suatu persamaan dua variabel yang sama dengan suatu konstanta tertentu. Persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut.

$$f_1(x_1, x_2) = K_1 \quad (2.10)$$

$$f_2(x_1, x_2) = K_2 \quad (2.11)$$

K_1 dan K_2 adalah suatu konstanta.

Kemudian kita nyatakan solusi dari persamaan di atas adalah $x_1(0)$ dan $x_2(0)$. Tanda (0) menunjukkan bahwa solusi-solusi tersebut adalah solusi awal. Kita nyatakan pula bahwa $\Delta x_1(0)$ dan $\Delta x_2(0)$ untuk mendapatkan penyelesaian yang tepat. Sehingga dapat dituliskan sebagai berikut.

$$K_1 = f_1(x_1, x_2) = f_1 [x_1(0) + \Delta x_1(0) + x_2(0) + \Delta x_2(0)] \quad (2.12)$$

$$K_2 = f_2(x_1, x_2) = f_2 [x_1(0) + \Delta x_1(0) + x_2(0) + \Delta x_2(0)] \quad (2.13)$$

Untuk menyelesaikan $\Delta x_1(0)$ dan $\Delta x_2(0)$ pada persamaan 2.12 dan 2.13 maka akan kita uraikan dalam deret Taylor sebagai berikut.

$$K_1 = f_1[x_1(0), x_2(0)] + \Delta x_1(0) \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \bigg|_0 + \Delta x_2(0) \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \bigg|_0 + \dots \quad (2.14)$$

$$K_2 = f_2[x_1(0), x_2(0)] + \Delta x_1(0) \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \bigg|_0 + \Delta x_2(0) \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \bigg|_0 + \dots \quad (2.15)$$

Dengan turunan parsial orde lebih dari satu dalam deret suku-suku uraian telah diabaikan. Suku $\frac{\partial^2 f_1}{\partial x_1^2}$ menunjukkan bahwa turunan parsial dihitung untuk nilai-nilai $x_1(0)$ dan $x_2(0)$. Suku-suku lain semacam itu dihitung dengan cara yang sama.

Jika turunan parsial dengan orde lebih dari satu kita abaikan, persamaan 2.14 dan 2.15 dapat kita tuliskan dalam bentuk matriks yaitu.

$$\begin{bmatrix} K_1 - f_1 [x_1(0), x_2(0)] \\ K_2 - f_2 [x_1(0), x_2(0)] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1(0) \\ \Delta x_2(0) \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Matriks bujur sangkar turunan parsial di atas disebut dengan matriks Jacobian atau dalam hal ini $J(0)$ untuk menunjukkan bahwa solusi awal $x_1(0)$ dan $x_2(0)$ telah digunakan untuk menghitung nilai turunan parsial. Persamaan 2.16 dapat ditulis juga sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} \Delta K_1(0) \\ \Delta K_2(0) \end{bmatrix} = J(0) \begin{bmatrix} \Delta x_1(0) \\ \Delta x_2(0) \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Dengan menggunakan metode Newton-Rhapson perhitungan besar arus pada transmisi dan besarnya daya yang keluar masuk bus adalah sebagai berikut.

$$P_i - jQ_i = |V_i| < \delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| < \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.18)$$

Bagian riil dan imajiner dipisahkan sehingga persamaannya menjadi

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.19)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.20)$$

Bentuk matriks Jacobian dinyatakan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Untuk elemen J_1

$$\frac{\partial P_i}{\partial Q_i} = \sum_{j \neq 1} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial Q_i} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq 1 \quad (2.23)$$

Untuk elemen J_2

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq 1} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.24)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq 1 \quad (2.25)$$

Untuk elemen \mathbf{J}_3

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq 1} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.26)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq 1 \quad (2.27)$$

Untuk elemen \mathbf{J}_4

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} - \sum_{j \neq 1} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.28)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq 1 \quad (2.29)$$

$\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ adalah beda antara nilai yang dimasukkan dengan nilai yang dihitung yang disebut sebagai *power residual*.

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{\text{sch}} - P_i^{(k)} \quad (2.30)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{\text{sch}} - Q_i^{(k)} \quad (2.31)$$

Estimasi tegangan bus yang baru adalah

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (2.32)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (2.33)$$

Proses iterasi akan berhenti jika sudah terpenuhi

$$\Delta |P_i^{(k)}| \leq \epsilon \quad (2.34)$$

$$\Delta |Q_i^{(k)}| \leq \epsilon \quad (2.35)$$

Arus pada saluran dinyatakan sebagai berikut.

$$I_{ij} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{i0} V_i \quad (2.36)$$

Daya kompleks S_{ij} dari bus i ke bus j dan S_{ji} dari bus j ke bus i dinyatakan sebagai berikut.

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (2.37)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ij}^* \quad (2.38)$$

Untuk perhitungan rugi-rugi daya transmisi pada setiap kombinasi pembangkit dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2.39)$$

$$\begin{aligned} S_{Lij} &= \text{rugi-rugi daya transmisi (MW)} \\ S_{ij} &= \text{rugi-rugi pada saluran i-j} \\ S_{ji} &= \text{rugi-rugi pada saluran j-i} \end{aligned}$$

2.4 Optimal Power Flow

Optimal power flow adalah metode perhitungan untuk mencari suatu nilai minimal atau maksimal dari fungsi dalam hal ini fungsi biaya pembangkitan dari pembangkit tenaga listrik dan fungsi biaya transmisi dalam system tenaga listrik dengan memperhatikan batasan – batasan operasi (*constraint*). Perkembangan optimal power flow memiliki sejarah yang panjang. Pertama kali dikembangkan oleh Carpentier pada tahun 1962 [8] sehingga menjadi algoritma yang dapat menyelesaikan optimal power flow. Konsep optimal power flow berawal dari economic dispatch, pada economic dispatch terdapat satu batasan yaitu total daya pembangkitan harus sama dengan total daya beban ditambah rugi – rugi. Formula batasan persamaan pada economic dispatch adalah sebagai berikut :

$$P_{Load} + P_{losses} - \sum P_i = 0 \quad (2.40)$$

Economic dispatch menghasilkan biaya pembangkitan yang minimal dengan hanya satu batasan persamaan dan satu batasan pertidaksamaan. Optimal power flow merupakan kelanjutan dari economic dispatch dimana batasan untuk membuat sistem menjadi seimbang lebih banyak diantaranya terdapat batasan daya reaktif $Q_{i_{min}} \leq Q_i \leq Q_{i_{max}}$, batasan magnitude tegangan dan sudut tegangan $V_{i_{min}} \angle \theta_{i_{min}} \leq V_i \angle \theta_i \leq V_{i_{max}} \angle \theta_{i_{max}}$, serta batasan saluran transmisi $MVA_{ij}^- \leq MVA_{ij} \leq MVA_{ij}^+$. Masalah *optimal power flow* secara umum dirumuskan sebagai *nonlinear programming* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &\min G(x) \\ &\text{dengan } F(x) = 0 \\ &H_- \leq H(x) \leq H_+ \end{aligned} \quad (2.41)$$

$$x_- \leq x \leq x_+$$

Dimana $G(x)$ adalah fungsi objektif yang termasuk total biaya pembangkitan atau total rugi – rugi sistem atau total biaya transmisi. $F(x)$ merupakan persamaan aliran daya. $H(x)$ adalah batasan saluran transmisi dengan batas bawah dilambangkan oleh H_- dan batas atas adalah H_+ . x merupakan batasan magnitude tegangan dan sudut tegangan atau bisa merupakan level daya generator dan setting tap transformer dengan batas bawah dilambangkan dengan x_- dan batas atas dilambangkan x_+ [3].

2.5 Biaya Transmisi dengan Locational Marginal Price (LMP)

Locational Marginal Price (LMP) merupakan biaya marginal dari pengiriman daya listrik pada bus tertentu dengan mempertimbangkan biaya marginal pembangkitan dan aspek fisik dari sistem transmisi [9]. LMP pada lokasi tertentu mencerminkan biaya marginal dari pengiriman setiap MW dari permintaan beban dan mempertimbangkan biaya produksi pembangkitan, akibat injeksi daya pada batasan sistem serta rugi – rugi transmisi. Formula untuk menghitung LMP adalah sebagai berikut [10]:

$$\lambda_i = \frac{\partial F_i}{\partial P_i} \quad (2.42)$$

Keterangan:

F_i : Fungsi biaya pembangkit ke - i

P_i : Variabel daya pada generator ke-i

Nilai biaya transmisi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Biaya_Transmisi_{i,j} = Daya_{i,j} \times (LMP_i - LMP_j)^{[9]} \quad (2.43)$$

Keterangan:

$Biaya_Transmisi_{i,j}$ = Biaya saluran transmisi dari bus i ke bus j (Rp/MWh)

$Daya_{i,j}$ = Daya yang disalurkan dari bus i ke bus j (MW)

LMP_i, LMP_j = Locational Marginal Price di bus i dan bus j (Rp/h)

2.6 Solusi dari Multiobjective Optimal Power Flow untuk Biaya Pembangkitan dan Biaya Transmisi[11]

Permasalahan multiobjective Optimal Power Flow dikonversi ke single objective dengan cara kombinasi linear dengan objective yang berbeda sebagai sebuah penjumlahan. Pada penyelesaian masalah minimisasi biaya pembangkitan dan biaya transmisi terdapat beberapa metode yang telah dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan *multiobjective Optimal Power Flow* salah satu diantaranya sebagai berikut :

2.7.1 Multiobjective Particle Swarm Optimization

1 Minimisasi Biaya Pembangkitan

Kurva biaya pembangkitan dibuat dalam bentuk kuadratik seperti di bawah ini :

$$f_i = a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2 \left(\frac{R}{jam} \right) \quad (2.44)$$

Dimana f_i adalah biaya pembangkitan dari generator ke-i sedangkan a_i , b_i , c_i merupakan koefisien biaya dari generator ke-i, misalkan J_1 adalah total biaya pembangkitan maka,

$$J_1 = F(P_G) = \sum_{i=1}^{NG} f_i \quad (2.45)$$

Dimana NG adalah jumlah dari generator

2 Minimisasi Biaya Transmisi

Persamaan biaya transmisi dengan menggunakan metode MVA-km adalah sebagai berikut:

$$C_i = l S_i L_i \quad (2.46)$$

Dimana l adalah bobot yang merefleksikan biaya per kapasitas saluran transmisi ke-i ($l=1$), S_i adalah nilai rata-rata kompleks aliran daya pada saluran ke-i (MVA). L_i adalah panjang dari saluran ke-i (km). Misalkan J_2 adalah total biaya transmisi memiliki persamaan,

$$J_2 = CT = \sum_{i=1}^{Nb} l S_i L_i \quad (2.47)$$

Dimana Nb adalah jumlah dari saluran

Berdasarkan jumlah dari fungsi objektif dan batasan, maka dapat diformulasikan secara matematis sebagai optimasi multiobjective dengan batasan non linear sebagai berikut :

$$\text{Minimize } [J_1, J_2] \quad (2.48)$$

Dengan,

$$\begin{aligned} g(x,u) &= 0 \\ h(x,u) &\leq 0 \end{aligned} \quad (2.49)$$

Keterangan :

x : merupakan vector dari variable terikat yang terdiri dari tegangan bus beban V_L , daya reaktif generator Q_G , dan beban saluran transmisi S_l jadi x dapat menjadi seperti di bawah ini :

$$x^T = [V_{L1} \dots V_{LNL}, Q_{G1} \dots Q_{GNG}] \quad (2.50)$$

u : merupakan vector dari variable control yang terdiri dari tegangan generator V_G , *transformer tap setting* T , dan *shunt compensation* Q_c sehingga u dapat direpresentasikan sebagai berikut :

$$u^T = [V_{G1} \dots V_{GNG}, T_1 \dots T_{NT}, Q_{c1} \dots Q_{cNc}] \quad (2.51)$$

g : merupakan batasan persamaan

h : merupakan batasan pertidaksamaan

Optimasi multiobjective dapat diselesaikan secara simultan. Optimasi multiobjective menghasilkan dua solusi yaitu x^1 dan x^2 dengan kemungkinan solusi yang satu mendominasi solusi yang lainnya. Maka masalah minimasi dengan solusi x^1 mendominasi x^2 dapat ditentukan apabila memenuhi syarat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \forall i \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\}: f_i(x^1) &\leq f_i(x^2) \\ \exists j \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\}: f_j(x^1) &< f_j(x^2) \end{aligned} \quad (2.52)$$

Jika kondisi diatas tidak terpenuhi maka solusi x^1 tidak mendominasi x^2 . Jika x^1 mendominasi x^2 , x^1 disebut solusi non-dominated. Solusi non dominated ini disebut Pareto Optimal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

PENERAPAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION PADA MULTIOBJECTIVE OPTIMAL POWER FLOW

3.1 Optimal Power Flow dengan Fungsi Biaya kuadratik[12]

Biaya pembangkitan pada masalah *multiobjective optimal power flow* mempunyai bentuk kuadratik. Persamaan kuadratik biaya pembangkitan adalah sebagai berikut:

$$F = \sum_{i=1}^N C_i (P_{Gi}) = \sum_{i=1}^N a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2 \quad (3.1)$$

Dimana

- N : jumlah unit pembangkit
- a_i, b_i, c_i : koefisien biaya dari unit pembangkit
- P_{Gi} : pembangkitan daya nyata dari unit ke-i. $i = 1, 2 \dots N$

Batasan persamaan:

$$F = \sum_{i=1}^N P_i = P_D + P_L \quad (3.2)$$

Dimana

- P_i = daya yang dibangkitkan unit i
- P_D = total daya yang dibutuhkan
- P_L = rugi daya dan saluran pada transmisi

Batasan pertidaksamaan :

- Batas aliran cabang :
 $|S_i| \leq S_i^{max} \quad i = 1, 2 \dots n_l$ (3.3)
 Dimana n_l : jumlah saluran

- Tegangan pada bus :
 $|E_D|^{min} \leq E_i \leq |E_D|^{max} \quad i = 1, 2 \dots n_d$ (3.4)
 Dimana n_d : jumlah bus beban

- Generator MVAR

$$Q_{Gi}^{min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{max} \quad (3.5)$$

- Slack bus MW

$$P_G^{min} \leq P_G \leq P_G^{max} \quad (3.6)$$

3.2 Fungsi Objektif Biaya Transmisi

Dengan persamaan Locational Marginal Price maka,

$$\lambda_i = \frac{\partial F_i}{\partial P_i} \quad (3.7)$$

Keterangan:

F_i : Fungsi biaya pembangkit ke - i

P_i : Variabel daya pada generator ke-i

Persamaan kuadrat dari biaya pembangkitan pada persamaan (3.1), fungsi lambda biaya transmisi yang dimaksud menjadi,

$$\lambda_i = \sum_{i=1}^N C_i (P_{Gi}) = \sum_{i=1}^N bi + 2ci P_{Gi} \quad (3.8)$$

Dimana

N : jumlah unit pembangkit

bi, ci : koefisien biaya dari unit pembangkit

P_{Gi} : pembangkitan daya nyata dari unit ke-i. i = 1,2 ...

N

3.3 Multiobjective function biaya pembangkitan dan biaya transmisi

Berdasarkan persamaan (3.1) dan (3.8) maka persamaan multiobjective untuk biaya pembangkitan dan biaya transmisi dapat diformulasikan menjadi sebagai berikut:

$$J = \sum_{i=1}^N ai + bi P_{Gi} + ci P_{Gi}^2 + (1000 \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{N - 1}}) \quad (3.9)$$

Dimana,

J = Mutiobjective function

$ai + bi P_{Gi} + ci P_{Gi}^2$ = fungsi biaya pembangkitan

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{N-1}} = \text{fungsi standar deviasi biaya transmisi}$$

3.4 Particle Swarm Optimization

Particle Swarm Optimization (PSO) merupakan algoritma berdasarkan perilaku sebuah kawanan serangga, seperti rayap, lebah atau hewan seperti burung. Algoritma PSO meniru perilaku sosial dari organisme serangga ataupun burung. Kata partikel menunjukkan misalnya, seekor burung dalam kawanan burung. Setiap partikel memiliki dua karakteristik yaitu posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam ruang tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan atau nilai fungsi objektif. Setiap partikel menyampaikan informasi atau posisi terbaiknya kepada partikel yang lain dan menyesuaikan posisi dan kecepatan masing – masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai posisi yang terbaik. PSO dikembangkan dengan berdasarkan pada model sebagai berikut :

1. Ketika seekor burung mendekati target atau makanan (atau bisa minimum atau maksimum suatu fungsi tujuan) secara cepat mengirim informasi kepada burung – burung yang lain dalam kawanan tertentu
2. Burung yang lain akan mengikuti arah menuju ke makanan tetapi tidak secara langsung
3. Ada komponen yang tergantung pada pikiran setiap burung, yaitu memorinya tentang apa yang sudah dilewati pada waktu sebelumnya.

Implementasi PSO

Diketahui suatu fungsi sebagai berikut :

$$\text{Min } f(x) \tag{3.10}$$

$$\text{Dimana } X^{(B)} \leq X \leq X^{(A)}$$

Dengan $X^{(B)}$ merupakan batas bawah dan $X^{(A)}$ merupakan batas atas dari X . Prosedur PSO dapat dijelaskan dengan langkah – langkah sebagai berikut :

1. Asumsikan bahwa ukuran kelompok atau kawanan (jumlah partikel) adalah N . Untuk mengurangi jumlah evaluasi fungsi yang diperlukan untuk menemukan solusi, sebaiknya ukuran N tidak terlalu besar, tetapi juga tidak terlalu kecil, agar ada banyak kemungkinan posisi menuju solusi terbaik atau optimal. Jika

terlalu kecil, sedikit kemungkinan menemukan posisi partikel yang baik. Terlalu besar juga akan membuat perhitungan jadi panjang. Biasanya digunakan ukuran kawanan yaitu 20 sampai 30 partikel.

2. Bangkitkan populasi awal X dengan rentang $X^{(B)}$ dan $X^{(A)}$ secara random sehingga didapat X_1, X_2, \dots, X_N . Setelah itu partikel j dan kecepatannya pada iterasi I dinotasikan sebagai $X_j^{(I)}$ dan $V_j^{(I)}$ sehingga partikel – partikel awal ini akan menjadi $X_1(0), X_2(0), \dots, X_N(0)$. Vektor $X_j(0), (j=1, 2, \dots, N)$ disebut partikel atau vektor koordinat dari partikel. (seperti kromosom dalam algoritma genetika). Evaluasi nilai fungsi tujuan untuk setiap partikel dan nyatakan dengan

$$f[X_1(0)], f[X_2(0)], \dots, f[X_N(0)] \quad (3.11)$$

3. Hitung kecepatan dari semua partikel. Semua partikel bergerak menuju titik optimal dengan suatu kecepatan. Awalnya semua kecepatan dari partikel diasumsikan sama dengan nol. Set iterasi = 1.
4. Pada iterasi ke- i , temukan 2 parameter penting untuk setiap partikel j yaitu:
 - a. Nilai terbaik sejauh ini dari $X_j(i)$ (koordinat partikel j pada iterasi i) dan nyatakan sebagai $P_{best,j}$, dengan nilai fungsi objektif paling rendah (kasus minimasi), $f[X_j(i)]$, yang ditemui sebuah partikel j pada semua iterasi sebelumnya. Nilai terbaik untuk semua partikel $X_j(i)$ yang ditemukan sampai iterasi ke- i , G_{best} , dengan nilai fungsi tujuan paling kecil/minimum diantara semua partikel untuk semua iterasi sebelumnya, $f[X_j(i)]$.
 - b. Hitung kecepatan partikel j pada iterasi ke i dengan rumus sebagai berikut:

$$V_j(i) = V_j(i-1) + c_1 r_1 [P_{best,j} - x_j(i-1)] + c_2 r_2 [G_{best} - x_j(i-1)] \quad (3.12)$$

$j=1, 2, \dots, N$

dengan c_1 dan c_2 masing – masing adalah learning rate untuk kemampuan individu (cognitive) dan pengaruh social (group), dan r_1 dan r_2 bilangan random yang berdistribusi uniform dalam interval 0 dan 1. Jadi

parameter c_1 dan c_2 menunjukkan bobot dari memori (posisi) sebuah partikel terhadap memori (posisi) dari kelompok (swarm). Nilai dari c_1 dan c_2 biasanya adalah 2 sehingga perkalian $c_1 r_1$ dan $c_2 r_2$ memastikan bahwa partikel – partikel akan mendekati target sekitar setengah selisihnya.

- c. Hitung posisi atau koordinat partikel j pada iterasi ke – i dengan cara

$$X_j(i) = X_j(i - 1) + V_j(i) \quad (3.13)$$

$j=1,2,\dots,N$

Evaluasi nilai fungsi tujuan untuk setiap partikel dan nyatakan sebagai :

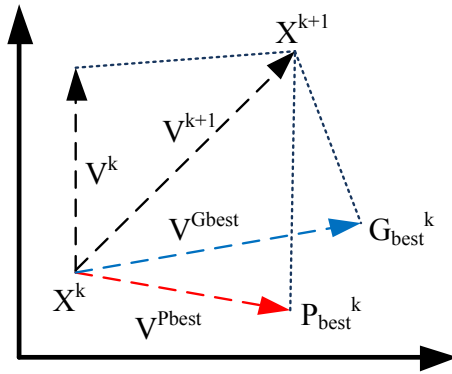
$$f[X_1(i)], f[X_2(i)], \dots, f[X_N(i)] \quad (3.14)$$

5. Cek apakah solusi yang sekarang sudah konvergen. Jika posisi semua partikel menuju ke satu nilai yang sama, maka ini disebut konvergen. Jika belum konvergen maka langkah 4 diulang dengan memperbarui iterasi $i = i + 1$, dengan cara menghitung nilai baru dari $P_{best,j}$ dan G_{best} . Proses iterasi ini dilanjutkan sampai semua partikel menuju ke satu titik solusi yang sama. Biasanya akan ditentukan dengan kriteria penghentian (*stopping criteria*), misalnya jumlah selisih solusi sekarang dengan solusi sebelumnya sudah sangat kecil.[5]

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah metode optimasi berbasis populasi yang pertama kali dikembangkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995, terinspirasi oleh perilaku sosial sekumpulan burung dan ikan. PSO memiliki alat optimasi yang menyediakan prosedur pencarian berbasis populasi yang mana setiap individu disebut partikel. Partikel tersebut mengganti posisinya setiap waktu. Kumpulan partikel yang merupakan calon solusi dinamakan *swarm*. Dalam sistem PSO, partikel melayang-layang di sekitar ruang pencarian multidimensi.[13]

Selama proses penerbangan, setiap partikel menentukan posisinya sendiri berdasarkan pengalamannya sendiri (nilai ini yang disebut P_{best}) dan berdasarkan pengalaman dari partikel tetangganya (nilai ini disebut G_{best})

Proses pencarian P_{best} dan G_{best} dapat diilustrasikan dalam gambar 3.1



Gambar 3.1 Konsep pencarian Pbest dan Gbest dari PSO.

Modifikasi ini dapat diwakili sebagai sebuah konsep kecepatan. Kecepatan dari setiap agen dapat dirumuskan dari persamaan berikut.

$$v_{k+1} = w \cdot v_k + c_1 rand \times (P_{best} - x^k) + c_2 rand \times (G_{best} - x^k) \quad (3.15)$$

Menggunakan persamaan di atas, kecepatan tertentu yang secara bertahap akan semakin mendekati Pbest dan Gbest bisa dihitung. Posisi saat ini (pencarian dalam ruang solusi) bisa didapatkan dari persamaan berikut .

$$x^{k+1} = x^k + v_{k+1} \quad . \quad k = 1, 2 \dots n \quad (3.16)$$

Dimana

- X^k : titik pencarian sekarang ini
- X^{k+1} : posisi pencarian yang dimodifikasi
- V^k : kecepatan saat ini
- V^{k+1} : kecepatan agen yang dimodifikasi
- V_{pbest} : kecepatan berdasar pbest
- V_{gbest} : kecepatan berdasar gbest
- n : jumlah partikel dalam kelompok
- $pbest_i$: pbest dari agen k
- $gbest_i$: gbest dari kelompok

- w : fungsi berat dari kecepatan agen k
 c_i : koefisien berat untuk istilah berikut
 - c_1 dan c_2 adalah 2 konstanta positif
 - r_1 dan r_2 adalah bilangan random yang berkisar antara 0 sampai 1
 - w adalah bobot inersia dan didefinisikan sebagai fungsi iterasi dari k sebagai berikut:

$$w(k) = w_{max} - \left(\frac{w_{max} - w_{min}}{max.iter} \right) \times k \quad (3.17)$$

Untuk memastikan kecepatan seragam dari semua dimensi, kecepatan maksimum adalah sebagai berikut.

$$v^{max} = \frac{(x^{max} - x^{min})}{N} \quad (3.18)$$

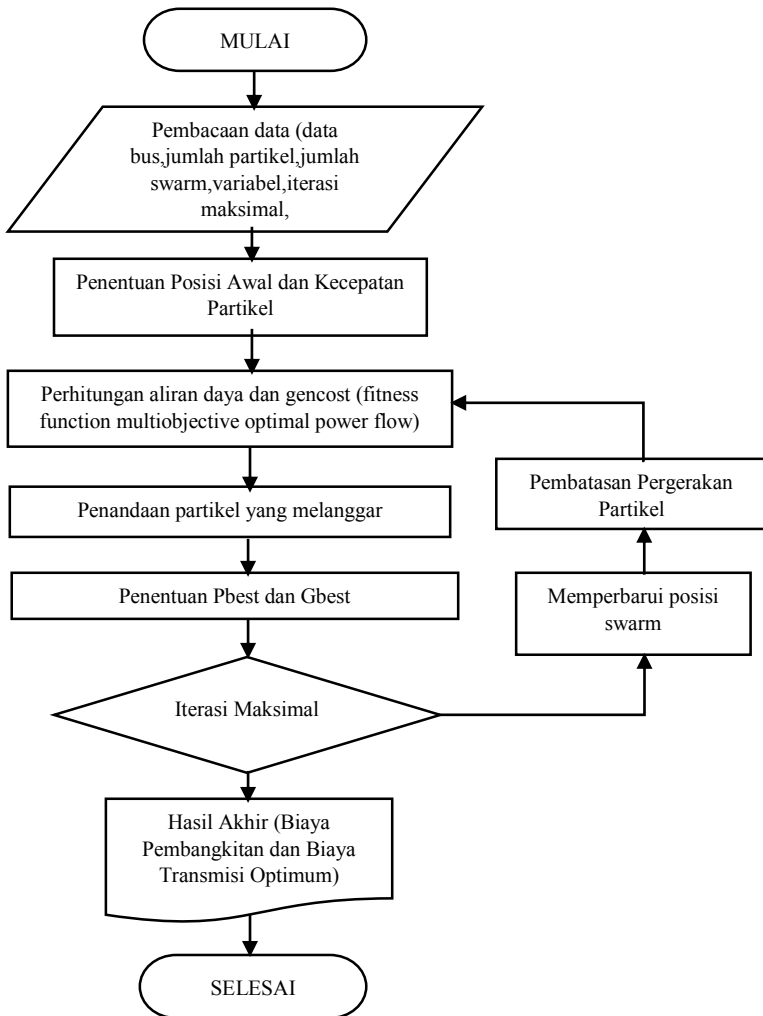
Dimana N adalah jumlah iterasi maksimal yang ditentukan

3.4.1 Pengaplikasian terhadap Multiobjective Optimal Power Flow

Untuk meminimalkan J sebanding dengan mencari nilai *fitness* minimum pada proses pencarian. Partikel dengan fungsi biaya terendah seharusnya disediakan nilai *fitness* terbesar.

Multiobjective OPF berbasis PSO untuk pencarian biaya minimum dari pembangkitan dan transmisi dengan mengambil langkah-langkah berikut.

- Langkah I : Inisiasi jumlah variabel, partikel, data bus dan jumlah iterasi maksimal.
 Langkah II : Penentuan posisi awal dan kecepatan partikel dengan *weight* dan konstanta tertentu.
 Langkah III : Awal iterasi dengan perhitungan aliran daya dan *gencost*.
 Langkah IV : Penentuan P_{best} dan G_{best} .
 Langkah V : Penentuan *Fitness* terbaik lokal dan terbaik global.
 Langkah VI : Pengecekan batasan kesamaan dan ketidaksetaraan.
 Langkah VII : Penandaan terhadap partikel yang melanggar batasan.
 Langkah VIII : Akhir iterasi dan penampilan hasil akhir untuk harga pembangkitan dan transmisi termurah.



Gambar 3.2 Diagram alir MOPF-PSO

3.4.2 Parameter-parameter

Parameter-parameter yang digunakan pada PSO tugas akhir ini merupakan inisialisasi awal operasi algoritma yang digunakan dalam analisis *multiobjective optimal power flow*. Parameter-parameter tersebut antara lain.

- Jumlah swarm = 50
- Jumlah variabel = 8
- Iterasi maksimal = 30
- *Social constant* = 2
- *Cognitive constant* = 2
- *Inertia* (w) = $0.4 - 0.9$

Partikel adalah sebuah himpunan yang terdiri dari variabel. Variabel adalah parameter yang akan dioptimalkan dalam tugas akhir ini. Fungsi objektif dari tugas akhir ini adalah dengan mencari biaya pembangkitan dan transmisi termurah dengan memperhatikan batasan-batasan yang telah ditentukan dalam analisis *multiobjective optimal power flow*. Iterasi maksimal adalah banyaknya proses pengulangan yang dilakukan dalam tugas akhir ini. *Social* dan *Cognitive constant* adalah konstanta yang telah ditetapkan dalam metode pengoptimalan menggunakan algoritma *particle swarm optimization*.

3.4.3 Inisialisasi Kecepatan

Parameter kedua yang diinisialisasi adalah kecepatan gerak partikel. Kecepatan gerak partikel didefinisikan menjadi dua yaitu kecepatan minimal dan kecepatan maksimal. Kecepatan minimum partikel adalah nol dan kecepatan maksimal partikel adalah nilai acak dari selisih batas maksimal pembangkitan dikurangi batas minimum pembangkitan. Kecepatan maksimal partikel dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$V_{\max} = 0.5 \times (P_{\max} - P_{\min}) \quad (3.19)$$

Dimana

- V_{\max} = Kecepatan maksimal partikel
- P_{\max} = Daya maksimal pembangkitan dari tiap-tiap unit
- P_{\min} = Daya minimal pembangkitan dari tiap-tiap unit

3.4.4 Evaluasi Fitness Populasi

Evaluasi nilai *fitness* populasi adalah proses menentukan nilai *fitness* terbaik dengan memperhatikan batasan-batasan yang telah ditentukan. Batasan tersebut adalah aliran daya pada saluran, tegangan bus minimal dan tegangan maksimal bus serta harga pembangkitan minimal dan maksimal. Partikel yang melanggar batasan yang telah ditentukan akan diberi tanda sehingga partikel tersebut tidak termasuk dalam pemilihan calon solusi.

Cara yang dilakukan untuk penandaan partikel yang melanggar batas adalah dengan merubah nilai *fitness* partikel tersebut menjadi nilai yang sangat besar sehingga partikel tersebut tidak termasuk dalam pemilihan calon solusi.

3.4.5 Penentuan Posisi Terbaik Lokal dan Global

Parameter pemilihan *fitness* pada metode PSO ini didasarkan pada dua hal yaitu posisi terbaik lokal dan posisi terbaik global. Posisi terbaik lokal adalah posisi terbaik yang dimiliki oleh masing-masing partikel sedangkan posisi terbaik global adalah posisi terbaik yang dimiliki oleh kumpulan partikel tersebut.

Fungsi objektif dari tugas akhir ini adalah mencari biaya minimum pembangkitan dan biaya minimum transmisi dengan memperhatikan batasan-batasan. Oleh karena itu, posisi terbaik lokal tiap partikel adalah berdasar pada total biaya pembangkitan dan standar deviasi dari λ . Jika partikel tersebut tidak melanggar batasan maka harga nilai *fitness* partikel tersebut akan menjadi posisi terbaik partikel itu sendiri.

Posisi terbaik global didapat dengan cara mencari nilai paling rendah dari kumpulan partikel yang memiliki posisi terbaik lokal sendiri. Setiap partikel akan mengevaluasi dirinya sendiri dan partikel lain dalam pencarian posisi terbaik global.

3.4.6 Pembaruan Kecepatan Partikel

Proses selanjutnya dari metode ini adalah proses pembaruan kecepatan masing-masing partikel. Proses pembaruan kecepatan ini bertujuan agar metode ini dapat mencapai nilai konvergensi dalam waktu yang cepat. Setiap partikel memiliki kecenderungan tersendiri dalam menentukan pembaruan kecepatannya. Pembaruan kecepatan setiap partikel mengacu terhadap dua hal yaitu posisi terbaik lokal partikel itu sendiri atau posisi terbaik global dari keseluruhan partikel. Partikel tersebut dengan konstanta pergerakan yang diatur acak akan cenderung

mendekati posisi terbaik global atau cenderung menjauhi posisi terbaik global karena posisi terbaik global pada iterasi tertentu belum tentu akan menjadi nilai dengan fungsi objektif terbaik.

3.4.7 Pembatasan Pergerakan Partikel

Pada setiap transisi antara akhir iterasi dan kembali ke tahap awal iterasi partikel akan bergerak acak sehingga ada kemungkinan partikel tersebut melaju ke luar dari daerah pencarian nilai objektif terbaik. Cara yang dilakukan untuk menghindari hal tersebut adalah dengan membatasi pergerakan partikel.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISA HASIL DAN SIMULASI

4.1 Sistem Interkoneksi Jawa Bali 500 kV

Sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali terdiri dari 25 bus dengan 30 saluran dan 8 pembangkit. Pembangkit yang terpasang pada bus pembangkitan antara lain pembangkit Suralaya, pembangkit Muaratawar, pembangkit Cirata, pembangkit Saguling, pembangkit Tanjungjati, pembangkit Gresik, pembangkit Paiton, dan pembangkit Grati. Di antara 8 pembangkit tersebut pembangkit Cirata dan Saguling merupakan pembangkit listrik tenaga air, sedangkan pembangkit listrik lainnya merupakan pembangkit listrik tenaga uap. Pembangkit Suralaya berfungsi sebagai pembangkit *slack*.

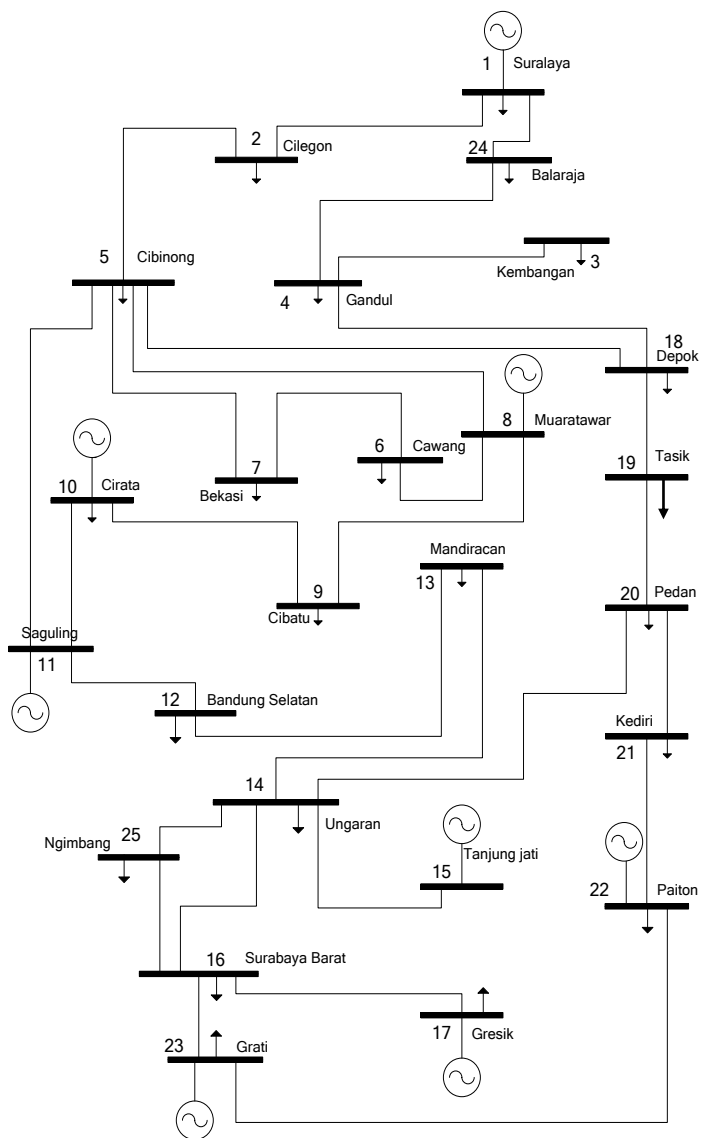
Data pembebanan pada sistem interkoneksi Jawa Bali diperoleh dari data lapangan melalui PT. PLN (Persero) P3B Jawa Bali yaitu menggunakan data pembebanan pada tanggal 08 September 2014.

Pada bab ini akan dilakukan simulasi dan analisis dengan menggunakan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali.

simulasi menggunakan pengujian kombinasi jumlah *swarm* dan iterasi maksimal yang berbeda. Simulasi masing-masing *swarm* akan dilakukan selama 10 kali percobaan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.

Hasil simulasi *multiobjective optimal power flow* menggunakan metode PSO ini akan menguji sejumlah *swarm* dan iterasi maksimal yang telah ditentukan jumlahnya untuk menentukan berapa jumlah *swarm* dan iterasi maksimal yang efisien serta untuk menentukan relatif standar deviasi dari metode PSO ini sehingga akan diketahui apakah metode PSO ini sangat baik atau tidak untuk diimplementasikan dalam sistem lain.

Sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV dapat digambarkan dalam bentuk *single line diagram* pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Sistem Interkoneksi Jawa Bali 500 kV

Data mengenai saluran-saluran dalam sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali diberikan sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data Pembangkitan sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV 25 bus

Nomor Bus	Jenis Bus	Pembangkitan		Beban	
		MW	MVAR	MW	MVAR
1	Slack	3218	0	153	45
2	Beban	0	0	703	227
3	Beban	0	0	760	261
4	Beban	0	0	544	181
5	Beban	0	0	697	215
6	Beban	0	0	760	181
7	Beban	0	0	646	170
8	Generator	1470	0	0	0
9	Beban	0	0	823	317
10	Generator	530	0	680	245
11	Generator	665	0	0	0
12	Beban	0	0	590	351
13	Beban	0	0	397	136
14	Beban	0	0	329	363
15	Generator	830	0	0	0
16	Beban	0	0	862	317
17	Generator	1020	0	210	91
18	Beban	0	0	210	91
19	Beban	0	0	277	17
20	Beban	0	0	524	244
21	Beban	0	0	358	206
22	Generator	2820	0	839	272
23	Generator	198	0	130	193

Tabel 4.1 Data Pembangkitan sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV 25 bus (lanjutan)

Nomor Bus	Jenis Bus	Pembangkitan		Beban	
		MW	MVAR	MW	MVAR
24	Beban	0	0	130	193
25	Beban	0	0	130	193

Tabel 4.2 Data saluran sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV 25 bus

Dari Bus	Ke Bus	R (pu)	X (pu)	1/2B (pu)
1	2	0.000626496	0.007008768	0
1	24	0.003677677	0.035333317	0
2	5	0.013133324	0.146925792	0.003530571
3	4	0.001513179	0.016928308	0
4	18	0.000694176	0.006669298	0
5	7	0.004441880	0.042675400	0
5	8	0.006211600	0.059678000	0
5	11	0.004111380	0.045995040	0.004420973
6	7	0.001973648	0.018961840	0
6	8	0.005625600	0.054048000	0
8	9	0.002822059	0.027112954	0
9	10	0.002739960	0.026324191	0
10	11	0.001474728	0.014168458	0
11	12	0.001957800	0.021902400	0
12	13	0.006990980	0.067165900	0.006429135
13	14	0.013478000	0.129490000	0.012394812
14	15	0.013533920	0.151407360	0.003638261
14	16	0.015798560	0.151784800	0.003632219
14	20	0.009036120	0.086814600	0

Tabel 4.2 Data saluran sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV 25 bus (lanjutan)

16	17	0.001394680	0.013399400	0
16	23	0.003986382	0.044596656	0
18	5	0.000818994	0.007868488	0.015114437
18	19	0.014056000	0.157248000	0.016463941
19	20	0.015311000	0.171288000	0.011065927
20	21	0.010291000	0.115128000	0.011065927
21	22	0.010291000	0.115128000	0.004769846
22	23	0.004435823	0.049624661	0
24	4	0.002979224	0.028622920	0
25	14	0.023479613	0.225580588	0
25	16	0.005966652	0.057324466	0

Persamaan karakteristik biaya pembangkitan kuadratik setiap pembangkit pada sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV 25 bus adalah sebagai berikut.

$$F(P_1) = -11.00831302 P_1^2 + 391059.2754 P_1 + 44455587.75$$

$$F(P_8) = 690.98 P_8^2 + 2478064.47 P_8 + 107892572.17$$

$$F(P_{10}) = 6000 P_{10} + 0$$

$$F(P_{11}) = 5502 P_{11} + 0$$

$$F(P_{15}) = -21.88 P_{15}^2 + 197191.76 P_{15} - 1636484.18$$

$$F(P_{17}) = 132.15 P_{17}^2 + 777148.77 P_{17} + 13608770.96$$

$$F(P_{22}) = 52.19 P_{22}^2 + 37370.67 P_{22} + 8220765.38$$

$$F(P_{23}) = 533.92 P_{23}^2 + 2004960.63 P_{23} + 86557397.40$$

Tabel 4.3 Batasan daya Pembangkit sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali 25 bus

Bus No.	Batas daya ouput (MW)	
	Min	Maks
1	2500	3400
8	1000	1600
10	400	800
11	400	900
15	700	1200
17	700	1200
22	2400	3100
23	150	400

Pembangkitan oleh PLN

Tabel 4.4 Tabel pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali

	PLN MW	Biaya Rp/jam
Suralaya	3218	590.448.162,55
Muaratawar	1470	5.243.786.025
Cirata	530	2.400.000
Saguling	665	2.943.570
Tanjungjati	830	146.959.544,62
Gresik	1020	729.802.889,66
Paiton	2820	528.641.810,78
Grati	198	504.471.401,82
Total	10751	7.749.453.840,02

4.2 Hasil Simulasi Optimasi Individu

4.2.1 Optimasi Biaya Pembangkitan

Tabel 4.5 Hasil sepuluh kali percobaan optimasi individu biaya pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (20 swarm)

	20 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Nilai Maksimum	6914799415	6938561283	6808819122
Nilai Minimum	6593718051	6583160316	6601654150
Rata – rata	6697504796	6704314734	6699567685
Standar Deviasi	109738401.3	97413322.06	66957375.17
Relatif Standar Deviasi (%)	1.638	1.452	0.999
Waktu rata – rata (detik)	31.835	52.080	78.847

Pada tabel 4.5 optimasi individu biaya pembangkitan pada kondisi 20 swarm dengan 30 iterasi, 50 iterasi, 75 iterasi, dimana masing – masing iterasi dilakukan 10 kali percobaan. Kombinasi paling efisien ada pada 20 swarm 75 iterasi yang mempunyai nilai relatif standar deviasi paling kecil. Harga rata – rata pada kondisi tersebut dapat merepresentasikan kesepuluh data simulasi, sehingga total biaya pembangkitan adalah 6.699.567.685 Rp/jam.

Tabel 4.6 Hasil sepuluh kali percobaan optimasi individu biaya pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (30 swarm)

	30 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Nilai Maksimum	6741339226	6854126186	6734822216
Nilai Minimum	6511592834	6593729279	6524440810
Rata – rata	6624149993	6700602232	6630861931
Standar Deviasi	63388740.47	88577124.2	68066754.05
Relatif Standar Deviasi (%)	0.956	1.321	1.026
Waktu rata – rata (detik)	46.834	80.603	134.220

Pada tabel 4.6 optimasi individu biaya pembangkitan pada kondisi 30 swarm dengan 30 iterasi, 50 iterasi, 75 iterasi, dimana masing – masing iterasi dilakukan 10 kali percobaan. Kombinasi paling efisien ada pada 30 swarm 30 iterasi yang mempunyai nilai relatif standar deviasi paling kecil. Harga rata – rata pada kondisi tersebut dapat merepresentasikan kesepuluh data simulasi, sehingga total biaya pembangkitan adalah 6.624.149.993 Rp/jam.

Tabel 4.7 Hasil sepuluh kali percobaan optimasi individu biaya pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (40 swarm)

	40 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Nilai Maksimum	6656779677	6741853086	6705565260
Nilai Minimum	6458671126	6520715842	6384910822
Rata – rata	6557336821	6595144972	6600642457
Standar Deviasi	69232012.61	66732575.33	101864276.3
Relatif Standar Deviasi (%)	1.055	1.011	1.543
Waktu rata – rata (detik)	62.476	127.593	154.958

Pada tabel 4.7 optimasi individu biaya pembangkitan pada kondisi 40 swarm dengan 30 iterasi, 50 iterasi, 75 iterasi, dimana masing – masing iterasi dilakukan 10 kali percobaan. Kombinasi paling efisien ada pada 40 swarm 50 iterasi yang mempunyai nilai relatif standar deviasi paling kecil. Harga rata – rata pada kondisi tersebut dapat merepresentasikan kesepuluh data simulasi, sehingga total biaya pembangkitan adalah 6.595.144.972 Rp/jam.

Tabel 4.8 Hasil sepuluh kali percobaan optimasi individu biaya pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (50 swarm)

	50 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Nilai Maksimum	6577606440	6678519261	6705161560
Nilai Minimum	6378896527	6462707907	6502605235
Rata – rata	6460791947	6576760786	6608782071
Standar Deviasi	67835192.13	69898338.16	73383855.06
Relatif Standar Deviasi (%)	1.049	1.062	1.110
Waktu rata – rata (detik)	77.454	134.277	194.997

Pada tabel 4.8 optimasi individu biaya pembangkitan pada kondisi 50 swarm dengan 30 iterasi, 50 iterasi, 75 iterasi, dimana masing – masing iterasi dilakukan 10 kali percobaan. Kombinasi paling efisien ada pada 50 swarm 30 iterasi yang mempunyai nilai relatif standar deviasi paling kecil. Harga rata – rata pada kondisi tersebut dapat merepresentasikan kesepuluh data simulasi, sehingga total biaya pembangkitan adalah 6.460.791.947 Rp/jam.

4.2.2 Optimasi Biaya Transmisi

Biaya transmisi yang dimaksud adalah biaya pengiriman daya pada beberapa saluran transmisi. Saluran transmisi yang dimaksud yaitu dari bus 22 ke bus 23 sebesar 100 MW dan dari bus 10 ke bus 11 sebesar 60 MW.

Tabel 4.9 Hasil sepuluh kali optimasi individu biaya transmisi percobaan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (20 swarm)

	20 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Nilai Maksimum	1402014.73	1394706.47	1397020.31
Nilai Minimum	1385706.21	1383842.66	1375266.56
Rata – rata	1393860.47	1388220.59	1385809.59
Standar Deviasi	11531.86911	4541.698931	7599.997182
Relatif Standar Deviasi (%)	0.827333106	0.327159744	0.548415687
Waktu rata – rata (detik)	31.835	52.080	78.847
Biaya Transmisi Bus 22 ke bus 23	-188997051.7	-192132628.8	-185279070.9
Biaya Transmisi Bus 10 ke bus 11	29880	29880	29880

Pada kondisi 20 swarm dengan 50 iterasi optimasi individu biaya transmisi menunjukkan nilai minimum standar deviasi lambda yaitu 1383842.66 dengan nilai relatif standar deviasi yang paling kecil. Nilai standar deviasi minimum dapat menunjukkan nilai lambda pada bus 22, bus 23, bus 10, dan bus 11. Harga biaya transmisi dari bus 22 ke bus 23 dengan injeksi daya 100 MW dan harga biaya transmisi dari bus 10 ke bus 11 dengan injeksi daya 60 MW dapat diketahui sebagai berikut :

Lambda bus 22 = 339969.3 Rp/jam

Lambda bus 23 = 2261296 Rp/jam

Lambda bus 10 = 6000 Rp/jam

Lambda bus 11 = 5502 Rp/jam

Maka,

Biaya transmisi saluran bus 22 ke bus 23 = $100 \times 339969.3 - 2261296$
 $= -192132628.8 \text{ Rp/MWjam}$

Biaya transmisi saluran bus 10 ke bus 11 = $60 \times 6000 - 5502$
 $= 29880 \text{ Rp/MWjam}$

Tabel 4.10 Hasil sepuluh kali percobaan optimasi individu biaya transmisi sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (30 swarm)

	30 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Nilai Maksimum	1394631.59	1402428.18	1384351.73
Nilai Minimum	1375564.37	1382731.06	1376651.16
Rata – rata	1383587.13	1389912.24	1380968.36
Standar Deviasi	8341.262671	7148.028122	3934.299412
Relatif Standar Deviasi (%)	0.602872238	0.514279097	0.284894247
Waktu rata – rata (detik)	46.834	80.603	78.847
Biaya Transmisi Bus 22 ke 23	-186314719.5	-192222914.4	-182652425.2
Biaya Transmisi Bus 10 ke bus 11	29880	29880	29880

Pada kondisi 30 swarm dengan 75 iterasi optimasi individu biaya transmisi menunjukkan nilai minimum standar deviasi lambda yaitu 1376651.16 dengan nilai relatif standar deviasi yang paling kecil. Nilai standar deviasi minimum dapat menunjukkan nilai lambda pada bus 22, bus 23, bus 10, dan bus 11. Harga biaya transmisi dari bus 22 ke bus 23 dengan injeksi daya 100 MW dan harga biaya transmisi dari bus 10 ke bus 11 dengan injeksi daya 60 MW dapat diketahui sebagai berikut :

Lambda bus 22 = 356231.7 Rp/jam

Lambda bus 23 = 2182756 Rp/jam

Lambda bus 10 = 6000 Rp/jam

Lambda bus 11 = 5502 Rp/jam

Maka,

Biaya transmisi saluran bus 22 ke bus 23 = $100 \times 356231.7 - 2182756$
= -182652425.2 Rp/MWjam

Biaya transmisi saluran bus 10 ke bus 11 = $60 \times 6000 - 5502$
= 29880 Rp/MWjam

Tabel 4.11 Hasil sepuluh kali percobaan optimasi individu biaya transmisi sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (40 swarm)

	40 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Nilai Maksimum	1381770.86	1379610.04	1397039.64
Nilai Minimum	1372060.31	1374136.07	1377434.18
Rata – rata	1375354.91	1377260.56	1385169.35

Tabel 4.11 Hasil sepuluh kali percobaan optimasi individu biaya transmisi sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (40 swarm)(lanjutan)

	40 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Standar Deviasi	4537.876495	2818.07954	7008.267802
Relatif Standar Deviasi (%)	0.329942219	0.204614844	0.50595025
Waktu rata – rata (detik)	62.476	127.593	154.958
Biaya Transmisi Bus 22 ke 23	-183759622.8	-184930981.7	-186358844
Biaya Transmisi Bus 10 ke bus 11	29880	29880	29880

Pada kondisi 40 swarm dengan 50 iterasi optimasi individu biaya transmisi menunjukkan nilai minimum standar deviasi lambda yaitu 1374136.07 dengan nilai relatif standar deviasi yang paling kecil. Nilai standar deviasi minimum dapat menunjukkan nilai lambda pada bus 22, bus 23, bus 10, dan bus 11. Harga biaya transmisi dari bus 22 ke bus 23 dengan injeksi daya 100 MW dan harga biaya transmisi dari bus 10 ke bus 11 dengan injeksi daya 60 MW dapat diketahui sebagai berikut :

Lambda bus 22 = 353820.6 Rp/jam

Lambda bus 23 = 2203130 Rp/jam

Lambda bus 10 = 6000 Rp/jam

Lambda bus 11 = 5502 Rp/jam

Maka,

Biaya transmisi saluran bus 22 ke bus 23 = $100 \times 353820.6 - 2203130$
 $= -184930981.7 \text{ Rp/MWjam}$

Biaya transmisi saluran bus 10 ke bus 11 = $60 \times 6000 - 5502$
 $= 29880 \text{ Rp/MWjam}$

Tabel 4.12 Hasil sepuluh kali percobaan optimasi individu biaya transmisi sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (50 swarm)

	50 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Nilai Maksimum	1379296.17	1389287.95	1388569.47
Nilai Minimum	1370270.21	1376761.11	1377110.13
Rata – rata	1374807.83	1379605.94	1382050.93
Standar Deviasi	3537.294906	4418.747842	4362.806706
Relatif Standar Deviasi (%)	0.25729377	0.320290579	0.315676262
Waktu rata – rata (detik)	77.454	134.277	194.997

Tabel 4.12 Hasil sepuluh kali percobaan optimasi individu biaya transmisi sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (50 swarm)(lanjutan)

	50 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Biaya Transmisi Bus 22 ke 23	-181243500.5	-181476490.2	-187442709.5
Biaya Transmisi Bus 10 ke bus 11	29880	29880	29880

Pada kondisi 50 swarm dengan 30 iterasi optimasi individu biaya transmisi menunjukkan nilai minimum standar deviasi lambda yaitu 1370270.21 dengan nilai relatif standar deviasi yang paling kecil. Nilai standar deviasi minimum dapat menunjukkan nilai lambda pada bus 22, bus 23, bus 10, dan bus 11. Harga biaya transmisi dari bus 22 ke bus 23 dengan injeksi daya 100 MW dan harga biaya transmisi dari bus 10 ke bus 11 dengan injeksi daya 60 MW dapat diketahui sebagai berikut :

Lambda bus 22 = 353118.1 Rp/jam

Lambda bus 23 = 2165553 Rp/jam

Lambda bus 10 = 6000 Rp/jam

Lambda bus 11 = 5502 Rp/jam

Maka,

Biaya transmisi saluran bus 22 ke bus 23 = $100 \times 353118.1 - 2165553$
 $= -181243500.5 \text{ Rp/MWjam}$

Biaya transmisi saluran bus 10 ke bus 11 = $60 \times 6000 - 5502$
 $= 29880 \text{ Rp/MWjam}$

4.3 Hasil Simulasi Multiobjective Optimal Power Flow

4.3.1 Optimasi Biaya Pembangkitan

Tabel 4.13 Hasil sepuluh kali percobaan optimasi mopf biaya pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (20 swarm)

	20 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Nilai Maksimum	8274751562	8329657925	8302812808
Nilai Minimum	7993043364	7934403470	7880238351
Rata – rata	8142989660	8098764466	8049347890
Standar Deviasi	77613171.72	116423318.9	137244584.4
Relatif Standar Deviasi (%)	0.953	1.437	1.705
Waktu rata – rata (detik)	35.327	58.479	77.670

Pada tabel 4.13 optimasi mopf biaya pembangkitan pada kondisi 20 swarm dengan 30 iterasi, 50 iterasi, 75 iterasi, dimana masing – masing iterasi dilakukan 10 kali percobaan. Kombinasi paling efisien ada pada 20 swarm 30 iterasi yang mempunyai nilai relatif standar deviasi paling kecil. Harga rata – rata pada kondisi tersebut dapat merepresentasikan kesepuluh data simulasi, sehingga total biaya pembangkitan adalah 8.142.989.660 Rp/jam.

Tabel 4.14 Hasil sepuluh kali percobaan optimasi mopf biaya pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (30 swarm)

	30 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Nilai Maksimum	8150730263	8229912467	8160214545
Nilai Minimum	7923186359	7950233251	7964335197
Rata – rata	7999201798	8091724049	8058142594
Standar Deviasi	76266024.57	96180813.55	62028831.8
Relatif Standar Deviasi (%)	0.95342	1.188632	0.769766
Waktu rata – rata (detik)	48.805	88.184	139.453

Pada tabel 4.14 optimasi mopf biaya pembangkitan pada kondisi 30 swarm dengan 30 iterasi, 50 iterasi, 75 iterasi, dimana masing – masing iterasi dilakukan 10 kali percobaan. Kombinasi paling efisien ada pada 30 swarm 75 iterasi yang mempunyai nilai relatif standar deviasi paling kecil. Harga rata – rata pada kondisi tersebut dapat merepresentasikan kesepuluh data simulasi, sehingga total biaya pembangkitan adalah 8.058.142.594 Rp/jam.

Tabel 4.15 Hasil sepuluh kali percobaan optimasi mopf biaya pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (40 swarm)

	40 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Nilai Maksimum	8242217297	8140263715	8064185078
Nilai Minimum	7794128742	7782452161	7917874513
Rata – rata	7923012404	7969824965	7990761876
Standar Deviasi	129333544.8	96069677.17	51247534.58
Relatif Standar Deviasi (%)	1.632378	1.205418	0.641335
Waktu rata – rata (detik)	62.083	134.976	155.278

Pada tabel 4.15 optimasi mopf biaya pembangkitan pada kondisi 40 swarm dengan 30 iterasi, 50 iterasi, 75 iterasi, dimana masing

– masing iterasi dilakukan 10 kali percobaan. Kombinasi paling efisien ada pada 40 swarm 75 iterasi yang mempunyai nilai relatif standar deviasi paling kecil. Harga rata – rata pada kondisi tersebut dapat merepresentasikan kesepuluh data simulasi, sehingga total biaya pembangkitan adalah 7.990.761.876 Rp/jam.

Tabel 4.16 Hasil sepuluh kali percobaan optimasi mopf biaya pembangkitan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (50 swarm)

	50 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Nilai Maksimum	7928674378	8050076620	8030714257
Nilai Minimum	7740997872	7810342006	7870972873
Rata – rata	7829314036	7911382407	7943992664
Standar Deviasi	56271243.91	81719328.04	56357859.48
Relatif Standar Deviasi (%)	0.718725	1.032934	0.70944
Waktu rata – rata (detik)	77.035	136.320	193.483

Pada tabel 4.16 optimasi mopf biaya pembangkitan pada kondisi 50 swarm dengan 30 iterasi, 50 iterasi, 75 iterasi, dimana masing – masing iterasi dilakukan 10 kali percobaan. Kombinasi paling efisien ada pada 50 swarm 75 iterasi yang mempunyai nilai relatif standar deviasi paling kecil. Harga rata – rata pada kondisi tersebut dapat merepresentasikan kesepuluh data simulasi, sehingga total biaya pembangkitan adalah 7.943.992.664 Rp/jam.

4.3.2 Optimasi Biaya Transmisi

Tabel 4.17 Hasil sepuluh kali percobaan optimasi mopf biaya transmisi sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (20 swarm)

	20 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Nilai Maksimum	1400595	1382339	1380896
Nilai Minimum	1379536.021	1375460.325	1372883.219
Rata – rata	1390065.266	1378226.3	1383326.6
Standar Deviasi	14890.60192	2480.312322	3097.787836
Relatif Standar Deviasi (%)	1.071216027	0.179964083	0.22393756
Waktu rata – rata (detik)	35.327	58.479	77.670
Biaya Transmisi Bus 22 ke 23	-184076101.3	-183947441.1	-180883160.1
Biaya Transmisi Bus 10 ke bus 11	29880	29880	29880

Pada kondisi 20 swarm dengan 50 iterasi optimasi mopf biaya transmisi menunjukkan nilai minimum standar deviasi lambda yaitu 1375460.325 dengan nilai relatif standar deviasi yang paling kecil. Nilai standar deviasi minimum dapat menunjukkan nilai lambda pada bus 22, bus 23, bus 10, dan bus 11. Harga biaya transmisi dari bus 22 ke bus 23 dengan injeksi daya 100 MW dan harga biaya transmisi dari bus 10 ke bus 11 dengan injeksi daya 60 MW dapat diketahui sebagai berikut :

Lambda bus 22 = 347488.9 Rp/jam

Lambda bus 23 = 2186963 Rp/jam

Lambda bus 10 = 6000 Rp/jam

Lambda bus 11 = 5502 Rp/jam

Maka,

Biaya transmisi saluran bus 22 ke bus 23 = $100 \times 347488.9 - 2186963$
 $= -183947441.1 \text{ Rp/MWjam}$

Biaya transmisi saluran bus 10 ke bus 11 = $60 \times 6000 - 5502$
 $= 29880 \text{ Rp/MWjam}$

Tabel 4.18 Hasil sepuluh kali percobaan optimasi mopf biaya transmisi sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (30 swarm)

	30 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Nilai Maksimum	1383088	1390708	1378903
Nilai Minimum	1369194	1372293	1375344
Rata – rata	1374289.518	1380356.44	1377560.795
Standar Deviasi	5310.658764	5980.238895	1934.342229
Relatif Standar Deviasi (%)	0.386429	0.433239	0.140418
Waktu rata – rata (detik)	48.805	88.184	139.453
Biaya Transmisi Bus 22 ke 23	-180952873.1	-182152346	-185276108.2
Biaya Transmisi Bus 10 ke bus 11	29880	29880	29880

Pada kondisi 30 swarm dengan 75 iterasi optimasi mopf biaya transmisi menunjukkan nilai minimum standar deviasi lambda yaitu 1375344 dengan nilai relatif standar deviasi yang paling kecil. Nilai standar deviasi minimum dapat menunjukkan nilai lambda pada bus 22, bus 23, bus 10, dan bus 11. Harga biaya transmisi dari bus 22 ke bus 23 dengan injeksi daya 100 MW dan harga biaya transmisi dari bus 10 ke bus 11 dengan injeksi daya 60 MW dapat diketahui sebagai berikut :

Lambda bus 22 = 350807.1 Rp/jam

Lambda bus 23 = 2203568 Rp/jam

Lambda bus 10 = 6000 Rp/jam

Lambda bus 11 = 5502 Rp/jam

Maka,

Biaya transmisi saluran bus 22 ke bus 23 = $100 \times 350807.1 - 2203568$
= 185276108.2 Rp/MWjam

Biaya transmisi saluran bus 10 ke bus 11 = $60 \times 6000 - 5502$
= 29880 Rp/MWjam

Tabel 4.19 Hasil sepuluh kali percobaan optimasi mopf biaya transmisi sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (40 swarm)

	40 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Nilai Maksimum	1373957	1378149	1388150
Nilai Minimum	1371311	1372357	1372943
Rata – rata	1372348.658	1374638.253	1377510.449
Standar Deviasi	1146.340865	3085.304016	5933.666918
Relatif Standar Deviasi (%)	0.083531	0.224445	0.430753
Waktu rata – rata (detik)	62.083	134.976	155.278
Biaya Transmisi Bus 22 ke 23	-181838316.6	-183813992.4	-182570895
Biaya Transmisi Bus 10 ke bus 11	29880	29880	29880

Pada kondisi 40 swarm dengan 30 iterasi optimasi mopf biaya transmisi menunjukkan nilai minimum standar deviasi lambda yaitu 1371311 dengan nilai relatif standar deviasi yang paling kecil. Nilai standar deviasi minimum dapat menunjukkan nilai lambda pada bus 22, bus 23, bus 10, dan bus 11. Harga biaya transmisi dari bus 22 ke bus 23 dengan injeksi daya 100 MW dan harga biaya transmisi dari bus 10 ke bus 11 dengan injeksi daya 60 MW dapat diketahui sebagai berikut :

Lambda bus 22 = 353779.9 Rp/jam

Lambda bus 23 = 2172163 Rp/jam

Lambda bus 10 = 6000 Rp/jam

Lambda bus 11 = 5502 Rp/jam

Maka,

Biaya transmisi saluran bus 22 ke bus 23 = $100 \times 353779.9 - 2172163$
= -181838316.6 Rp/MWjam

Biaya transmisi saluran bus 10 ke bus 11 = $60 \times 6000 - 5502$
= 29880 Rp/MWjam

Tabel 4.20 Hasil sepuluh kali percobaan optimasi mopf biaya transmisi sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali (50 swarm)

	50 Swarm		
	30 iterasi	50 iterasi	75 iterasi
Nilai Maksimum	1373082	1377111	1382447
Nilai Minimum	1369013.701	1371520.684	1372495.575
Rata – rata	1370480.163	1374964.314	1376066.476
Standar Deviasi	1552.99	1942.904	3497.35
Relatif Standar Deviasi (%)	0.113317236	0.141305777	0.254155596
Waktu rata – rata (detik)	77.035	136.320	193.483
Biaya Transmisi Bus 22 ke bus 23	-181135531.9	-181878474.6	-182584846.2
Biaya Transmisi Bus 10 ke bus 11	29880	29880	29880

Pada kondisi 50 swarm dengan 30 iterasi optimasi mopf biaya transmisi menunjukkan nilai minimum standar deviasi lambda yaitu 1369013.701 dengan nilai relatif standar deviasi yang paling kecil. Nilai standar deviasi minimum dapat menunjukkan nilai lambda pada bus 22, bus 23, bus 10, dan bus 11. Harga biaya transmisi dari bus 22 ke bus 23 dengan injeksi daya 100 MW dan harga biaya transmisi dari bus 10 ke bus 11 dengan injeksi daya 60 MW dapat diketahui sebagai berikut :

Lambda bus 22 = 355895.6 Rp/jam

Lambda bus 23 = 2167251 Rp/jam

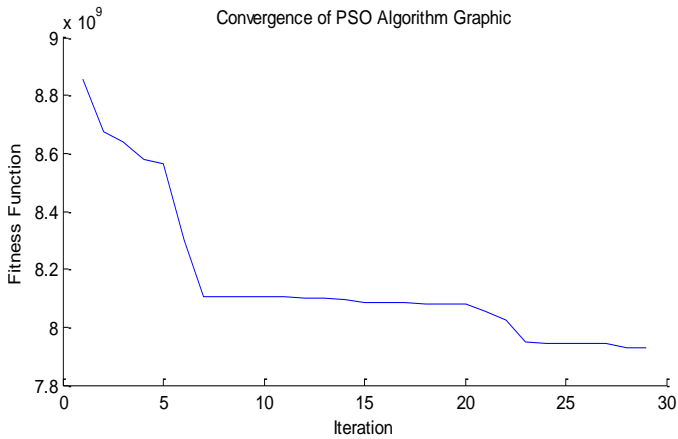
Lambda bus 10 = 6000 Rp/jam

Lambda bus 11 = 5502 Rp/jam

Maka,

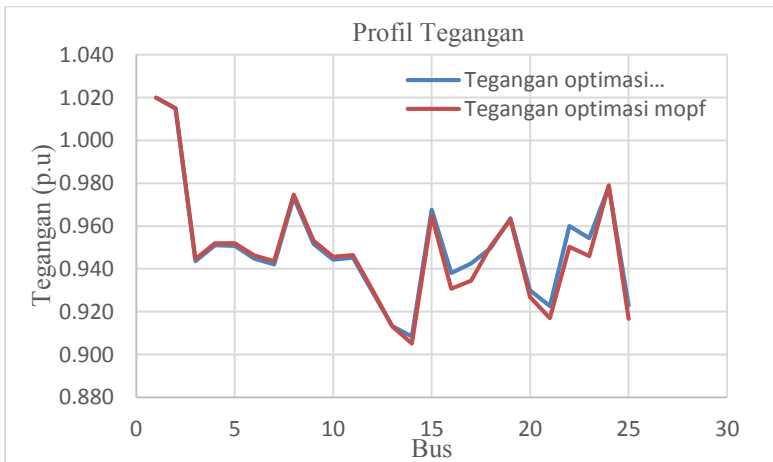
Biaya transmisi saluran bus 22 ke bus 23 = $100 \times 355895.6 - 2167251$
 $= -181135531.9$ Rp/MWjam

Biaya transmisi saluran bus 10 ke bus 11 = $60 \times 6000 - 5502$
 $= 29880$ Rp/MWjam



Gambar 4.2 Grafik konvergensi sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV 25 bus

Dari gambar 4.2 terlihat bahwa keadaan optimal total biaya pembangkitan dan biaya transmisi ada pada 50 swarm 30 iterasi dengan waktu rata – rata untuk mencapai konvergen 77.035 detik.



Gambar 4.3 Plot tegangan bus sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV 25 bus (optimasi individu dan optimasi mopf)

Batasan ketidaksamaan
Tegangan bus minimum 0.9 pu
Tegangan bus maksimum 1.05 pu

Tabel 4.21 Batas kapasitas saluran dari bus ke bus

Dari Bus	Ke Bus	Kapasitas Saluran (MVA)	Line flow (MVA)
1	2	4156.92	1534.291
1	24	3429.46	2022.546
2	5	2078.46	793.342
3	4	4156.92	803.568
4	18	4156.92	322.594
5	7	3429.46	738.303
5	8	2078.46	361.309
5	11	3429.46	369.429
6	7	1714.73	184.711
6	8	4156.92	753.749
8	9	1714.73	782.112
9	10	1714.73	662.160
10	11	1714.73	418.610
11	12	3429.46	689.794
12	13	3429.46	617.792
13	14	3429.46	941.384
14	15	4156.92	1138.317
14	16	3429.46	462.166
14	20	4156.92	519.319
16	17	3429.46	698.835
16	23	3429.46	1120.374
18	5	2078.46	445.782
18	19	2078.46	400.405
19	20	1714.73	628.753
20	21	3429.46	669.019
21	22	4156.92	1096.932
22	23	4156.92	1162.892
24	4	3429.46	1745.481
25	14	4156.92	213.344
25	16	3429.46	424.938

4.4 Analisa Hasil Simulasi

Dari tabel 4.4 Pembangkitan PLN untuk sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV 25 bus 30 saluran memerlukan total biaya pembangkitan 7.749.453.840,02 Rp/jam. Hasil simulasi pada optimasi individu biaya pembangkitan, total biaya pembangkitan adalah 6.460.791.947 Rp/jam. Hasil simulasi pada optimasi mopf biaya pembangkitan, total biaya pembangkitan adalah 7.829.314.036 Rp/jam. Ketiga hasil total biaya pembangkitan menunjukkan biaya termurah ada pada hasil simulasi optimasi individu biaya pembangkitan, hal ini disebabkan sistem belum mempertimbangkan untuk mengoptimasi biaya transmisi sehingga total biaya pembangkitan yang dihasilkan pada saat optimasi individu biaya pembangkitan akan lebih murah dibandingkan dengan optimasi mopf biaya pembangkitan.

Hasil simulasi untuk biaya transmisi pada saluran bus 22 ke bus 23 dan saluran bus 10 ke bus 11 dengan injeksi daya masing – masing 100 MW dan 60 MW dilakukan dengan optimasi individu biaya transmisi dan optimasi mopf biaya transmisi. Hasil simulasi optimasi individu biaya transmisi untuk saluran bus 22 ke bus 23 adalah -181.243.500.5 Rp/MWh dan untuk saluran bus 10 ke bus 11 adalah Rp. 29.880/MWh. Hasil optimasi mopf biaya transmisi untuk saluran bus 22 ke bus 23 adalah -181.135.531.9 Rp/MWh dan untuk saluran bus 10 ke bus 11 adalah 29.880 Rp/MWh. Dari kedua hasil simulasi tersebut memperlihatkan bahwa biaya transmisi pada optimasi mopf lebih murah dibandingkan dengan hasil optimasi individu biaya transmisi pada saluran bus 22 ke bus 23 sedangkan untuk saluran bus 10 ke bus 11 tidak terjadi kenaikan harga ataupun penurunan harga karena dari cost function merupakan pembangkit tenaga air yang dalam simulasi ini dianggap optimal.

Hasil pencarian untuk menentukan jumlah *swarm* dan iterasi maksimal yang efisien dapat dilihat pada tabel 4.13 sampai tabel 4.20. Dari beberapa percobaan tersebut dengan masing – masing running program dilakukan sebanyak sepuluh kali percobaan, didapatkan bahwa relative standar deviasi dari program ini mempunyai nilai rata – rata 1.07% untuk biaya pembangkitan dan 0.3% untuk biaya transmisi. Hasil ini menunjukkan bahwa program MOPF dengan PSO ini memiliki keakuratan yang cukup tinggi dari setiap kali percobaan programnya. Dari beberapa kali simulasi didapatkan jumlah *swarm* dan iterasi maksimal yang paling efisien dari segi durasi *running* program dan standar deviasi yang dihasilkan adalah sebanyak 50 *swarm* dan 30 iterasi

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis penggunaan metode *particle swarm optimization* pada masalah *multiobjective optimal power flow* di sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV 25 bus 30 saluran diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- 1 Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode *particle swarm optimization* dapat digunakan sebagai solusi masalah *multiobjective optimal power flow* untuk optimasi biaya pembangkitan dan biaya transmisi.
- 2 Pada pembebanan dengan menggunakan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali 25 bus, pengujian dengan beberapa kali percobaan menghasilkan total biaya paling optimal senilai. 7.829.314.036 Rp /jam atau lebih mahal 1,02% hal ini terjadi karena mempertimbangkan untuk mengoptimalkan biaya transmisi bus 22 ke bus 23 dan bus 10 ke bus 11.
- 3 Pada pembebanan dengan menggunakan sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali 25 bus, pengujian dengan beberapa kali percobaan menghasilkan biaya transmisi bus 22 ke bus 23 yang optimal senilai -181.135.531.9 Rp/MWh atau penghematan sebesar 0,06%. Sedangkan biaya transmisi bus 10 ke bus 11 yang optimal senilai 29.880 Rp/MWh atau tidak terjadi penghematan karena dua bus 10 dan 11 merupakan pembangkit listrik tenaga air yang dalam simulasi ini dianggap optimal.
- 4 Pengujian dilakukan untuk mencari jumlah swarm dan iterasi maksimal yang efisien. Setelah dilakukan 4 kali pengujian dengan jumlah swarm yang berbeda dan masing – masing swarm dilakukan sepuluh kali percobaan diperoleh bahwa jumlah swarm dan iterasi maksimal yang efisien dinilai dari durasi

running program dan relative standar deviasi adalah menggunakan 50 swarm dan 30 iterasi.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya pada bidang sistem operasi sistem tenaga dengan bahasan *multiobjective optimal power flow* berdasarkan hasil simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, yaitu :

1. Untuk penelitian selanjutnya fungsi objektif dapat ditambah tidak hanya dua tetapi tiga atau lebih misalnya ditambah fungsi objektif untuk meminimalkan rugi – rugi daya aktif.
2. Untuk penelitian selanjutnya metode *particle swarm optimization* dapat di *hybrid* dengan metode *mathematical programming*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yang, Xin-She, "Nature-Inspired Optimization Algorithms", School of Science and Technology Middlesex University London, London. 2014.
- [2] Yadav, Ankit, "Multiobjective Optimal Power Flow", Thapar University. 2010.
- [3] Rosehart, W.D, Canizares C.A, Quintana V.H, "Multiobjective Optimal Power Flows to Evaluate Voltage Security Costs in Power Networks", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.18, No. 2, 2003.
- [4] Aribia, H.B, Abdallah, H.H, "Multiobjective Reactive Dispatch Optimization of an Electrical Network," National School of Engineering, Tunisia. 2014.
- [5] Singiresu, S. Rao. "Engineering Optimization, Theory and Practice. John Wiley & Sons", New York, fourth edition, 2009.
- [6] Baskoro, Buyung, Ontoseno Penangsang, Adi Soeprijanto. "Analisis Aliran Daya Optimal Menggunakan Algoritma Genetika pada Sistem Interkoneksi 500 kV Jawa Bali", Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2009.
- [7] Saadat, Hadi, "Power System Analysis", McGraw Hill, Singapura, 1999.
- [8] Carpienter, J., "Contribution el'etude do Dispatching Economique," Bulletin Society Francaise Electriciens, Vol.3, August 1962.
- [9] Shahidehpour, Mohammad., Hatim, Yaman., and Zuyi, Li., "Market Operations in Electric Power System", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, 2002
- [10] Harison, D.Sam., Raja, T.Sree renga, "Application of Particle Swarm Optimization for Auction Based Dispatch in Deregulated Environment", International Conference on computing Electronic and Electrical Technologies, 2012.
- [11] R, Zaro, F., A, Abido, M., "Multi-Objective Particle Swarm Optimization for Optimal Power Flow in a Deregulated Environment of Power Systems", International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, 2011.
- [12] Kwang Y. Lee, Jong-Bae Park, "Application of Particle Swarm Optimization to Economic Dispatch Problem: Advantages and Disadvantages ", 2006 IEEE: 188-192.

- [13] A, Ibrahim, Rony Seto Wibowo, Ontoseno Penangsang,. “*Optimal Power Flow Untuk Non-Smooth Cost Function menggunakan Particle Swarm Optimization*”, Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2013.

RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Rurizwan Syahrul Wibisana. Penulis lahir di Ciamis Jawa Barat tanggal 16 Pebruari 1991 dan dibesarkan di kota Banjar Patroman Jawa Barat. Penulis adalah anak pertama dari pasangan Gunawan Wibisana dan Tuti. Setelah enam tahun menempuh pendidikan dasar di SDN 02 Banjar, Penulis melanjutkan pendidikan ke SMPN 3 Banjar pada tahun 2003. Mulai tahun 2006, penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Ciamis Jawa Barat dan lulus pada tahun 2009. Pada tahun 2010, penulis masuk ke Jurusan D3 Teknik Elektro, Universitas Gajah mada (UGM), Yogyakarta. Di semester ketiga, penulis mulai mendalami Bidang Studi Teknik Listrik. Pada tanggal 28 Agustus 2013 diwisuda dengan gelar Ahli Madya (A.Md). Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Di semester kedua, penulis mulai mendalami Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi melalui email rurizwansw@gmail.com atau telepon selular +6285223287941.

Halaman ini sengaja dikosongkan